

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-228505

(43)Date of publication of application : 11.09.1990

(51)Int.Cl.

G01B 9/02

G01B 11/24

(21)Application number : 01-048465

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 02.03.1989

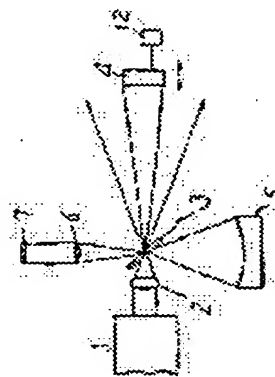
(72)Inventor : ICHIHARA YUTAKA

## (54) INTERFEROMETER

## (57)Abstract:

PURPOSE: To measure a spherical accuracy of a surface to be measured without being affected by an aberration of an optical system by using a spherical wave diffracted through a pinhole as a luminous flux for measurement and that for reference.

CONSTITUTION: A reflection mirror 3 is arranged with a pinhole placed between a light source 1 and a surface 4 to be measured and a light emitted from the light source 1 is diffracted at the pinhole to make a spherical wave. A part of the spherical wave is used as luminous flux for measurement and another part thereof for luminous flux for reference, which eliminates an optical system for irradiation of the whole surface to be measured with the luminous flux for measurement and a mirror surface to prepare a wave front of the luminous flux for reference. In other words, an interference of reflected light of the luminous flux for measurement on the surface to be measured with a luminous flux for reference as an ideal spherical wave enables measurement of a surface accuracy of the surface 4 to be measured without being affected by aberration of an optical system.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## ⑫ 公開特許公報(A) 平2-228505

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>G 01 B 9/02  
11/24

識別記号

D

庁内整理番号

7625-2F  
8304-2F

⑬ 公開 平成2年(1990)9月11日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全6頁)

⑭ 発明の名称 干渉計

⑮ 特 願 平1-48465

⑯ 出 願 平1(1989)3月2日

⑰ 発 明 者 市 原 裕 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑱ 出 願 人 株 式 会 社 ニ コ ン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

⑲ 代 理 人 弁 理 士 佐 藤 正 年

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

干 渉 計

## 2. 特許請求の範囲

光源から出射された光束の一部を測定用光束として被測定面である凹面に照射するとともに、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記光源から出射された光束の一部であって所定の波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被測定面の球面精度を測定する干渉計において、

前記光源と前記被測定面との間に、所定の大きさのピンホールを有する反射鏡が配置され、該反射鏡のピンホールから回折した光の一部を前記測定用光束として前記被測定面に照射するとともに、前記ピンホールから回折した光の一部を前記参照用光束として前記被測定面で反射された測定用光束と互いに干渉させることを特徴とした干渉計。

## 3. 発明の詳細な説明

## 【産業上の利用分野】

本発明は球面の面精度を非常に高い絶対精度で測定するための干渉計に関する。

## 【従来の技術】

従来この種の干渉計としては、トワイマングリーン型干渉計、フィゾー型干渉計等が使われている。

例として第6図にトワイマングリーン干渉計を示す。レーザ1から出た光はビームエクステンダー8で広げられ、ビームスプリッタ9で2方向に分けられる。一方の光束はレンズ10で広げられて測定用光束として被測定面(凹球面)4に照射され、ここで反射されて同じ光路を通り(レンズ10で再び平行光線となる)ビームスプリッタへ9戻る。

ビームスプリッタ9で分けられた他方の光束は、参照用反射面(基準となる理想的な面)11で反射され、所定の波面を有する参照用光束としてビームスプリッタ9へ戻る。そして、ここで参

照用光束と被測定球面4で反射された測定用光束とが再び重ね合され、合成された光束はレンズ6を通り、2次元のディテクター7へ到達し干渉縞を生じる。この干渉縞の明暗の状態をディテクターで読みとりコンピュータで処理することにより、被測定面4の形状誤差が算出される。即ち、被測定面4に参照用鏡面11に対して歪んでいる部分があればそれに対応してその部分の干渉縞の状態が乱れるので、これを解析することによって被測定面4の参照用鏡面11を基準とした形状誤差を測定することができる。

また、測定精度を向上させるためには、参照用反射面11をピエゾ素子等を用いて光軸方向に振動させ、いわゆるAC干渉計とし測定精度を上げている。更に、光路途中の光学系の収差の影響を除くため、予め球面ゲージ（面精度が既知である面）を被測定面4の代わりに設置して面精度を測定しておき、被測定面4の測定値を補正することが行われている。

#### 【発明が解決しようとする課題】

参照用光束として、前記被測定面で反射された測定用光束と互いに干渉させ、生じる干渉縞の状態を検知することにより被測定面の球面精度を測定する干渉計によって、上記の課題を達成している。

#### 【作 用】

本発明による干渉計においては、光源と被測定面の間にピンホールを設けた反射鏡が配置されているので、光源から出射された光は、ピンホールから回折されて球面波となる。そして、本発明ではこの球面波の一部を測定用光束、一部を参照用光束としているので、測定用光束を被測定面全体に照射するための光学系（第6図レンズ10）及び参照用光束の波面を揃えるための鏡面（第6図参照用反射面11）が不要となる。つまり、測定用光束の被測定面での反射光（球面波）と理想的な球面波である参照用光束とを干渉させることにより、光学系の収差の影響を受けずに被測定面の面精度が測定される。

ここで、ピンホールの形状は円であることが望

上記のように、従来技術においては、測定精度を向上させるためには球面ゲージを用いて光学系の収差の影響を補正しており、この球面ゲージ自体の絶対精度は $\lambda/40$ （ $\lambda=633\text{nm}$ ）程度である。

しかし、近年、短波長光学素子、特に軟X線用光学素子では $\lambda/100 \sim \lambda/1000$ （数10Å）以下の面精度が要求されており、従来の球面ゲージを用いる干渉計では求められる精度に対応することができないということが問題となってきた。

この発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、光学系の収差に影響されずに、即ち球面ゲージによる補正を必要としないで非常に高い絶対精度で球面精度を測定することができる干渉計を提供することを目的とするものである。

#### 【課題を解決するための手段】

本発明においては、光源と被測定面との間に、所定の大きさのピンホールを有する反射鏡が配置され、該反射鏡のピンホールから回折した光の一部を測定用光束として前記被測定面に照射するとともに、前記ピンホールから回折した光の一部を

ましく、具体的にはピンホールが形成された反射鏡が光軸に対して斜設される場合には、光軸方向から見たときに円形となるように楕円形の開口とすることが望ましい。

このピンホールの直径 $\phi$ は、使用波長 $\lambda$ 、被測定面の曲率半径を $r$ 、その口径を $a$ とするとき、

$$\frac{\lambda}{2} < \phi < \frac{\lambda r}{2a} \quad \dots (1)$$

の関係を満たすように構成することが好ましい。

(1)式の下限を外れてピンホールが小さくなる場合には、球面波を生ずる光の光量が少なくなるため、被測定面の面精度を十分に検出するに足るS/N比を得ることが難しくなる。他方、上限を越えてピンホールが大きくなる場合には、ピンホールで発生する球面波に歪が生ずるため、精度の向上が困難になる。

次に、参照用光束と被測定面で反射された測定用光束とを重ねあわせることにより生じる干渉縞について第4図及び第5図を用いて模式的に説明する。なお、図においては参照用光束の波面を突

線で、測定用光束の波面を点線で示す。

まず、測定用光束と参照用光束がともに理想的な球面波である場合（即ち、被測定面に歪がない場合）は、測定用光束と参照用光束の位相が例えば  $1/2$  入異なるとき（第4図A）、2光束は互いに強め合って全体が均一に暗くなり、測定用光束と参照用光束の位相が一致しているとき（第4図B）には、2光束が互いに強め合って全体が均一に明るくなる。

これに対し、被測定面に歪がある場合、被測定面で反射された測定用光束は、第5図Aに示されるように波面が歪み、参照用光束との位相差が場所によって異なってくる。簡単のため、測定用光束と参照用光束の波面の様子をa～eの領域に分けて考察すると、測定用光束と参照用光束の位相のずれは第5図Bのようになる。つまり、参照用光束の位相  $r$  に対して領域a、eの測定用光束の位相は約  $1/2$  入ずれており、この領域では2光束が打ち消しあって暗くなり、領域cでは位相が一致するため2光束が強めあって明るくなる。ま

ンホール3cがエッチング等によって設けられている。このピンホール3cの開口は、長径が光軸と  $45^\circ$  の角度をなす楕円となっており、光軸方向から見たときに前記(1)式を満足する大きさの円（例えば直径約  $1\mu\text{m}$  程度）となるように形成されている。

また、本実施例の干渉計では、光源1から被測定面4に至る光軸とピンホール3cの形成部分でほぼ直交する光軸上に、球面反射鏡5と二次元CCD（電荷結合素子）7がピンホールミラー3を介して対向するように配置されている。

以上のような構成の干渉計において、レーザ光源1からでた光は、レンズ2で集光されピンホールミラー3に当たり、光の一部はピンホール3cを通過し、回折により理想的球面波として広がり、測定用光束として被測定面4を照射する。

被測定面4で反射された測定用光束は、元来た光路を通過してピンホールミラー3に集光される。この際、ピンホール3aの径は被測定面4での反射光の集光点の大きさ  $\lambda r/a$  より十分小さいので

た、領域b、dでは位相が約  $1/4$  入ずれており領域a、eとcの間の明るさとなる。その結果、照射面（紙面に対して垂直な面）の明暗の状態は第5図Cに示されたようになる。このように、被測定面の歪があるとそれに対応した部分の干渉縞の明暗状態に乱れが生じるので、これを検出して解析することにより被測定面の球面精度を測定することができる。

#### 【実施例】

第1図は本発明の第1の実施例を示す光路図である。

本実施例の干渉計においては、レーザ光源1と被測定面4の間に、ピンホールを形成した反射鏡（以下ピンホールミラーと称す）3が光軸に対して約  $45^\circ$  の角度をなし、かつピンホールが光軸上に位置するように配置されている。

本実施例におけるピンホールミラー3は第3図に示されるように、ガラス板3bの表面に例えばクロム等の薄膜3a（例えば厚さ  $1000\sim 2000\text{\AA}$  程度）が蒸着されており、薄膜3aの略中央部にピ

大部分の光はピンホールミラー3で反射されて（ $90^\circ$  折り曲げられて）、レンズ6を通過して  $100\times 100$  のエレメントを持つ二次元CCD7の受光面に到達する。

他方、レンズ2で集光されピンホールミラー3で反射された光は、球面反射鏡5に当たり、ここで反射されて再びピンホールミラー3に集光される。集光された光の一部は、ピンホール3cを透過し、回折されて理想的球面波として広がり、レンズ6で平行光束とされて参照用光束としてCCD7受光面に到達する。なお、本実施例における球面反射鏡5は、ピンホールに向けて光束を反射集光できれば良く、従来例を示した第6図の参照用鏡面11とは異なり、参照用光束の波面を揃えるための基準面ではないので、格別に高精度に形成されている必要はない。

CCD7の受光面では参照用光束と被測定面からの反射光（測定用光束）との干渉によって干渉縞が生じる。CCD7からの出力は不図示のコンピュータに取り込まれて解析され、干渉縞の状態

から被測定面の球面精度が算出される。

また、本実施例の干渉計では、さらに測定精度を向上させるために、被測定面4又は球面反射鏡5のホルダに、ピエゾ素子12が具備されており、いずれかの面を光軸方向に微小に振動させて、周知のAC干渉計の手法により高精度に被測定面の面精度を読みとることができるようになっている。つまり、被測定面4又は球面反射鏡5を微小に振動させることにより、光路差が微小に変わりそれに伴って干渉縞の状態が変化するので、この変化を被照射面の各領域で検出することにより被測定面の歪みが測定される。

上記のような干渉計における最大の誤差要因は、ピンホールミラー3の精度であるが、面精度については反射に用いられる領域が非常に僅かであるので、実質上問題にならない。また、ピンホール3cが存在しているためその部分だけ光が反射されないが、前記(1)式を満足するようにピンホール径を十分小さくすれば測定精度に対する影響は非常に小さいものとなり、 $\lambda/100 \sim$

光はレンズ2で集光され、ピンホールミラー3に当たり、光の一部はピンホール3cを通過し回折により理想的球面波として広がって行く。

この球面波の一部が測定用光束として被測定面4に照射され、被測定面4で反射されてピンホールミラー3に集光される。測定用光束はさらにピンホールミラー3で反射され、レンズ6で平行光束とされてCCD7の受光面に到達する。

又、ピンホールを通過して回折により広がった理想的球面波の他の一部は、参照用光束としてレンズ6で平行光束とされてCCD7に到達する。

この際、ピンホールから回折される球面波は光源1から被照射面4に至る光軸から離れる程波面に歪みを生じやすく、光量も低下するので、レンズ6及びCCD7はこれらを考慮して配置することが望ましい。

次に、CCD7の受光面では、参照用光束と被測定面4で反射された測定用光束とが互いに干渉して干渉縞を生じる。本実施例においても第1の実施例と同様に被測定面4のホルダにピエゾ素

$\lambda/1000$  という非常に高い絶対精度での測定が可能となる。

また、ピンホール3cによる不要な回折(例えば、被測定面4からの反射光がピンホール3cで回折されて球面反射鏡5に入射し、さらにここで反射されてピンホール3cを透過してCCD7に到達する場合)が生じることも考えられるが、いずれにしてもこれらの光はCCD7に到達する前にピンホール3cを通過してここで理想的な球面波となるので測定精度には影響がない。

第2図は本発明の第2の実施例を示す光路図である。この実施例では、レーザ光源1と被照射面4の間に第1の実施例と同様なピンホールミラー3が光軸に対して所定の角度(45°より大)をなすように配置されている。本実施例においては第1の実施例の球面反射鏡5が配置されておらず、光源1から被測定面4に至る光軸と所定の角度(90°より小)をなす光軸上にCCD7が配置されている。

かかる干渉計において、レーザ光源1からでた

子が備えられており、被測定面4を微小に振動させて干渉縞の変化をCCD7で検出して、これを解析することにより球面精度が算出される。

なお、この実施例では、光源から射出されてピンホールから回折された光をそのまま参照用光束としているので、CCD7に到達する測定用光束と参照用光束の光路差が第1の実施例の場合より大となるが、光源1として単一波長レーザ等の干渉性の高い光源を使用すればこの程度の光路長の差は特に問題とならない。

また、上記の第1及び第2の実施例では干渉縞の状態を検知するのに二次元CCDを用いているが、これに限らず、その他の光電素子を用いて干渉縞を検出して良いことはいうまでもない。

#### 〔発明の効果〕

以上の様に本発明においては、ピンホールから回折した球面波を測定用光束および参照用光束としているので、測定用光束を広げるためのレンズや参照用光束の波面を揃えるための鏡面が不要であり、光学系の収差に影響されずに(即ち、球面

ゲージによる補正を必要としないで)、被測定面の球面精度を測定することができる。

7…2次元CCD

12…ピエゾ素子

かかる干渉計を用いれば、ピンホールの大きさを適切に選択することにより、例えば $\lambda/100 \sim \lambda/1000$ という非常に高い絶対精度での測定が可能であり、波長の短い軟X線用の光学素子の球面精度を測定する場合等に極めて有益である。

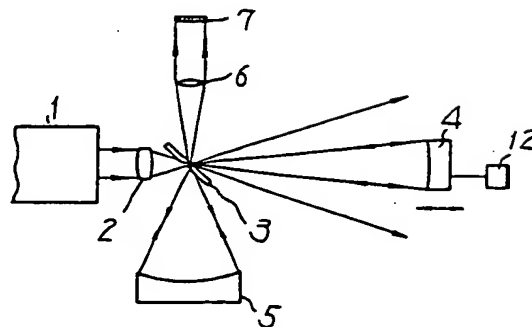
代理人 弁理士 佐藤 正 年

#### 4. 図面の簡単な説明

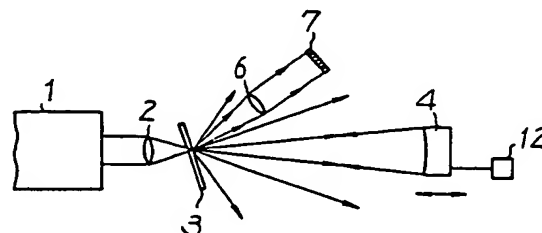
第1図は本発明の第1の実施例を示す光路図、第2図は本発明の第2の実施例を示す光路図、第3図はピンホールミラーの部分拡大断面図、第4図及び第5図は参照用光束と測定用光束の干渉を説明するための概念図、第6図は従来のトワイマングリーン型干渉計を示す光路図である。

##### 〔主要部分の符号の説明〕

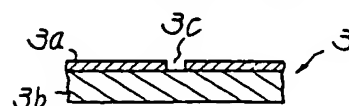
- 1…レーザ光源
- 3…ピンホールミラー
- 3c…ピンホール
- 4…被測定面
- 5…球面反射鏡



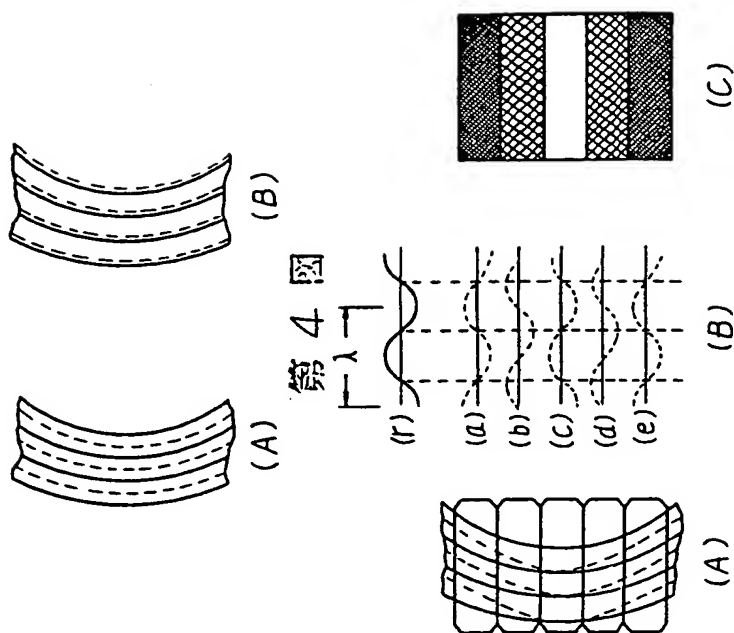
第1図



第2図

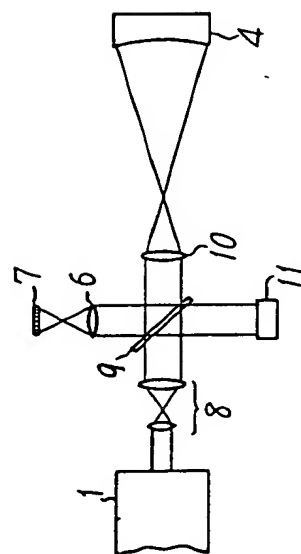


第3図



第 4 図

第 5 図



第 6 図